

С.Г. Парфенов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО "Брянский инженерно-технологический университет" (Брянск, Россия) (e-mail: parfenovsk@mail.ru)

М.В. Моргунов, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО "Брянский инженерно-технологический университет" (Брянск, Россия) (e-mail: 5555@bk.ru)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТЕРЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АРМАТУРЫ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА

В данной статье рассмотрены вторые потери предварительного напряжения арматуры от усадки и ползучести в железобетонных конструкциях из мелкозернистых бетонов. Деформации ползучести могут в несколько раз превышать упругие деформации от нагрузки. Наиболее распространенный на практике случай развития ползучести бетона - медленно затухающая с течением времени ползучесть с начальной достаточно высокой скоростью развития в первые часы после нагружения. Она характерна для напряжений, не превосходящих длительное сопротивление бетона.

Экспериментальное изучение деформаций усадки и ползучести мелкозернистых бетонов позволяет сопоставить потери предварительного напряжения от усадки и ползучести бетона. Обычно наблюдается суммарное влияние этих факторов, что значительно усложняет изучение процессов, происходящих в бетоне при длительных воздействиях. В основном, результаты, получаемые при испытании бетонных призм, используются для сравнения деформативных свойств бетонов, но для изучения потерь предварительного напряжения от усадки и ползучести бетона этого не достаточно и следует проводить на элементах, армированных предварительно напряженной арматурой для учета изменений напряжений обжатия и перераспределения напряжений по высоте сечения элемента при длительном действии усилия обжатия. Проанализированы результаты экспериментальных исследований железобетонных балок прямоугольного сечения при различных возрастах загружений по времени $t=14, 28, 280$ и 320 суток. Рассмотрены потери от быстросотекающей ползучести, потери от усадки, суммарные потери от усадки и ползучести. Экспериментальные данные представлены в виде графиков и таблиц. Выполнено сравнение экспериментальных данных с расчетными, определенными по действующим нормам, а для усадки и по методике, предлагаемой И.И. Улицким.

Ключевые слова: деформации усадки, деформации ползучести, мелкозернистый бетон, быстросотекающая ползучесть.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-1-112-117

Ссылка для цитирования: Парфенов С.Г., Моргунов М.В. Экспериментальные исследования потерь предварительного напряжения арматуры в железобетонных элементах из мелкозернистого бетона // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. Т. 22, № 1(76). С.112-117.

Различный состав мелкозернистого и тяжелого бетона оказывает влияние на их деформативные свойства, и процессы ползучести и усадки имеют несколько другой характер [1,2,10]. В настоящее время не сформировано единой теории, объясняющей ползучесть бетона, и в основном рассматриваются определенные факторы, влияющие на нее [4, 5, 7, 13, 14, 15]. Размеры усадки и ползучести мелкозернистого бетона колеблются в очень широких пределах и могут существенно превышать средние значения, учитываемые в нормативных документах [6,9,12].

Важным критерием оценки надежности конструкции является жесткость, на которую влияет величина предварительного обжатия. Одним из факторов, влияющих на величину предварительного обжатия, являются потери от быстросотекающей ползучести, которые проявляются во время обжатия элемента арматурой, втягиваемой на упоры, и зависят от уровня обжатия бетона. Учет данных потерь позволяет более точно определить потери напряжений от ползучести бетона, проявляющейся после окончания упругого обжатия бетона.

В данной статье проведен анализ экспериментальных данных с теоретическими по потерям от быстропротекающей ползучести, усадке и ползучести. Результаты, получаемые при испытании бетонных призм, используются для сравнения деформативных свойств бетонов, однако изучение потерь предварительного напряжения от усадки и ползучести бетона следует проводить на элементах, армированных предварительно напряженной арматурой. В этом случае учитывается изменение напряжений обжатия и перераспределение напряжений по высоте сечения элемента при длительном действии усилия обжатия. Сравнивались экспериментальные исследования, в которых потери предварительного напряжения от быстроснатекающей ползучести, определялись через 2 часа после упругого обжатия элемента [8]. Сравнение с экспериментальными данными других исследований затруднено из-за отсутствия единой методики определения этих потерь.

Значения напряжений обжатия бетона на уровне верхней и нижней арматуры при отпуске натяжения вычислялись на упругой стадии по приведенному сечению:

$$\sigma_{\sigma} = \frac{N_{01}}{F_n} + \frac{N_{01} \cdot l_0 \cdot y_n}{J_n}; \quad (1)$$

$$\sigma'_{\sigma} = \frac{N_{01}}{F_n} - \frac{N_{01} \cdot l_0 \cdot y'_n}{J_n}; \quad (2)$$

$$N_{01} = \sigma_{01} \cdot F_n + \sigma'_{01} \cdot F'_n. \quad (3)$$

Величины опытных потерь и расчетные величины потерь по нормам приведены в таблице 1 и на рисунке.

Почти во всех образцах опытные потери несколько превышают расчетные. Среднее превышение составляет 10%.

Потери предварительного напряжения рассмотрены с балок, изготовленных как с предварительным напряжением арматуры, из них взяты суммарные потери от усадки и ползучести, так и обычных для определения потерь от усадки бетона.

Таблица 1

Опытные и расчетные значения потерь от быстроснатекающей ползучести

Шифр балок	Напряжение в арматуре, МПа		Относительное обжатие бетона		Опытные потери, МПа		Расчетные потери, МПа	
	σ_{01}	σ'_{01}	σ_{σ} / R_0	σ'_{σ} / R_0	σ_{σ}	σ'_{σ}	σ_{σ}	σ'_{σ}
ПБ-1-1	390	390	0,53	0,20	28,5	12,4	27,1	10,0
ПБ -1-2	390	390	0,53	0,20	29,9	11,2	27,1	10,0
ПБ-1-3	390	390	0,53	0,20	28,6	9,5	27,1	10,0
Средние	390	390	0,30	0,20	29,0	11,0	27,1	10,0
ПБ-1-4	250	250	0,30	0,18	14,6	10,6	16,0	9,0
ПБ -1-5	250	250	0,30	0,18	18,2	12,0	16,0	9,0
ПБ-1-6	250	250	0,30	0,18	18,6	12,8	15,0	9,0
Средние	250	250	0,30	0,18	17,1	11,8	15,0	9,0
ПБ-1-7	250	250	0,43	0,22	23,8	11,8	21,5	11,0
ПБ -1-8	250	250	0,43	0,22	24,2	9,5	21,5	11,0
ПБ-1-9	250	250	0,43	0,22	23,5	13,2	21,5	11,0
Средние	250	250	0,43	0,22	23,8	11,5	21,5	11,0
ПБ-11-1	510	510	0,47	0,17	22,1	7,5	23,5	8,5
ПБ -11-2	510	510	0,47	0,17	26,2	9,8	23,5	8,5
ПБ-11-3	510	510	0,47	0,17	25,8	10,1	23,5	8,5
Средние	510	510	0,47	0,17	24,4	9,1	23,5	8,5

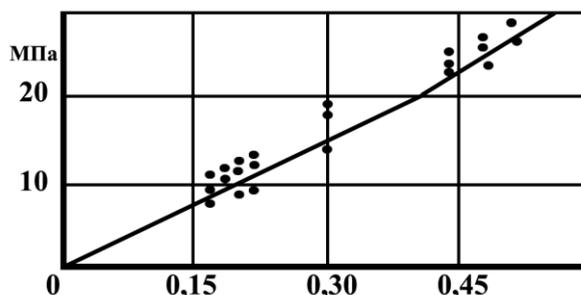


Рис. Потери предварительного напряжения арматуры от быстронатекающей ползучести

Опытные потери от усадки бетона сравнивались с расчетными, определяемыми двумя способами:

- 1 - определение потерь по нормам [3];
- 2 - определение потерь с учетом напряженного состояния железобетонного сечения и действительного характера протекания усадки. Второй способ предлагается в работе И.И. Улицкого [11].

Для вычисления потерь напряжения в арматуре по второму способу использовались следующие формулы:

– в нижней арматуре

$$\sigma_{a,y} = \alpha_y \cdot E_n \cdot \frac{(M_n - M'_n) \cdot (e_a + Y')}{M_n \cdot h_a \cdot (1 + n_n (M_n + M'_n)) \cdot \rho_a}; \quad (4)$$

– в верхней арматуре

$$\sigma'_{a,y} = \alpha'_y \cdot E_n \cdot \frac{(M_n - M'_n) \cdot (Y - e_a)}{M_n \cdot h_a \cdot (1 + n_n (M_n + M'_n)) \cdot \rho_a}. \quad (5)$$

В приведенных выражениях приняты следующие обозначения:

– деформации свободной усадки в момент определения потерь:

$$\rho_a = 1 + e_a^2 / \tau^2, \quad (6)$$

$$\tau^2 = J_\sigma / F_\sigma, \quad (7)$$

$$e_a = \frac{F_n \cdot Y - F'_n \cdot Y'}{F_n - F'_n}. \quad (8)$$

В таблице 2 приведены расчетные потери предварительного напряжения арматуры от усадки бетона, определенные двумя способами.

Таблица 2

Расчетные потери предварительного напряжения арматуры от усадки бетона

Шифр балок	Первый способ, МПа		Второй способ, МПа	
	σ_y	σ'_y	σ_y	σ'_y
ПБ -1-1,2,3	20,3	23,4	40,5	41,4
ПБ -1-4,5,6	20,3	23,4	38,2	37,0
ПБ -1-7,8,9	20,3	23,4	38,0	38,0
ПБ -11-1,2,3	20,3	23,4	42,2	42,2

Средние опытные потери от усадки для балок с $\mu = 1,1\%$ вставили 33,4 МПа.

Расчетные потери от ползучести бетона определялись по нормам. Опытные значения потерь взяты по фактическим деформациям арматуры и бетона. Сначала были взяты деформации бетона и арматуры в результате кратковременного нагружения. Таким образом, были определены деформации от упругого обжатия

и от быстронатекающей ползучести. Обжатие образцов производилось в возрасте 14 суток при достижении бетоном прочности $R_0 = 0,7R$. Затем использовались деформации арматуры и бетона непосредственно перед испытаниями, которые определялись в возрасте 28 суток. По разнице были найдены суммарные деформации от усадки и ползучести, по ко-

торым вычислялись потери предварительного напряжения.

Экспериментальные данные позволили сопоставить опытные потери предварительного напряжения от быстротекучей ползучести, усадки и ползучести с расчетными по нормативным документам. На основании экспериментов потери вычислялись по формуле

$$\sigma_n + \sigma_{ay} = [\varepsilon_{na}(t) + \alpha_{ya}(t)] E_n, \quad (9)$$

где $[\varepsilon_{na}(t) + \alpha_{ya}(t)]$ - суммарные деформации арматуры от ползучести и усадки бетона, измеренные на предварительно напряженных элементах;

E_n - модуль упругости предварительно напряженной арматуры, определенный экспериментальным путем.

Опытные и расчетные потери предварительного напряжения приведены в таблице 3.

Таблица 3

Потери предварительного напряжения, определенные различными способами

Шифр балок	Опытные данные, МПа		По нормам, МПа		Δ
	$\sigma_{8+9}^{оп}$	$\sigma_{6+8+9}^{оп}$	σ_{8+9}^p	σ_{6+8+9}^p	
ПБ-1-1	91,7	125,6	85,4	112,5	6,8
ПБ-1-2	92,5	122,4	85,4	112,5	7,6
ПБ-1-3	69,6	98,2	85,4	112,5	-22,7
Средние	86,4	115,4	85,4	112,5	1,2
ПБ-1-4	57,8	72,4	58,5	73,5	-1,2
ПБ-1-5	56,0	74,2	58,5	73,5	4,5
ПБ-1-6	46,6	65,2	58,5	73,5	-25,5
Средние	53,5	70,6	58,5	73,5	-9,3
ПБ-1-7	81,6	105,4	73,7	95,2	9,7
ПБ-1-8	70,3	94,5	73,7	95,2	-4,8
ПБ-1-9	72,7	96,2	73,7	95,2	-1,4
Средние	74,9	98,7	73,7	95,2	1,6
ПБ-11-1	78,0	100,1	78,4	101,9	-0,5
ПБ-11-2	80,2	105,4	78,4	101,9	2,2
ПБ-11-3	66,8	92,8	78,4	101,9	-17,4
Средние	75,0	99,4	78,4	101,9	4,5

Опытные потери от быстропротекающей ползучести мелкозернистого бетона при относительном уровне обжатия $\sigma_b/R_0 < 0,6$ удовлетворительно согласуются с величинами, вычисленными по нормам.

Величины суммарных потерь от усадки и ползучести, рассчитанных по нормам, оказались несколько меньше опытных, но не превышают погрешности.

Список литературы

1. Арутюнян Н.Х., Манжиров А.В. Контактные задачи теории ползучести. Ереван: НАН РА, 1999. 318 с.

2. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона. М.: АСВ, 2004. 472 с.

3. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003:СП 63.13330.2012.-Дата введения 2015-01-01.М.: ООО «Аналитик», 2012. 158 с.

4. ГОСТ 24544-81*. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести. Введ. 1982-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1982.

5. Галустов К. З. Нелинейная теория ползучести бетона и расчет железобетонных конструкций. М.: Физматгиз, 2006.

6. Есаян С.Г. Реологическое моделирование вязкоупругих, упругопластических и вязкоупруго-пластических сред. Ереван: Чартарагет. 2009. 368 с.

7. Лившиц Я.Д. Расчет железобетонных конструкций с учетом влияния усадки и ползучести бетона: учеб. пособие для строит. спец. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. Киев : Вища шк., 1976. 280 с.

8. Парфенов С.Г., Мощенков В.Е. Экспериментальные исследования деформации ползучести и усадки мелкозернистого бетона // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 4(73). С. 13-20.

9. Тамразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона: монография. М.: МГСУ, 2013. 524 с.

10. Тамразян А.Г. К теории расчета по предельным состояниям на основе реологической механики железобетона // Бетон и железобетон. 1999. №3.

11. Улицкий И.И., Чжан-Чжун-Яо, Голышев А.Б. Расчет железобетонных конструкций с учетом длительных процессов. Киев: Госстройиздат УССР, 1960. 495 с.

12. Хасин В.Л. К расчету железобетонных элементов с учетом нелинейной ползучести бетона // Пути повышения производительности труда, сокращения сроков проектирования и строительства транспортных сооружений: сб. науч. тр. М.: ЦИИС, 1986.

13. Li Xian-Fang, Fan Tian-You. Transient analysis of a piezoelectric strip with a permeable crack under anti-plane impact loads. International Journal of Engineering Science, Jan. 2002. 40, pp. 131-143.

14. Javier Aviles, Martha S. Sanchez-Sesma, Francisco J. Effects of wave passage on the relevant dynamic properties of structures with flexible foundation. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Jan. 2002, 31, 1, pp.139-159

15. Hidalgo P. A., Jordan R. M., Martinez M. P. An analytical model to predict the inelastic behaviour of shear-wall, reinforced concrete structures. Engineering Structures, Jan. 2002, 24, 1, pp. 85-98.

Поступила в редакцию 23.01.18

UDC 69.07

S.G. Parfenov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Bryansk State Engineering-Technological University (Bryansk, Russia) (e-mail: parfenovsk@mail.ru)

M. V. Morgunov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Bryansk State Engineering-Technological University (Bryansk, Russia) (e-mail: 5555@bk.ru)

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE LOSSES OF PRESTRESSING IN FINE REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

The article deals with late losses of prestressing of reinforcement due to shrinkage and creep in fine reinforced concrete structures. Creep deformations can several times exceed the elastic strain caused by load. The most common in practice case of the development of concrete creep is slowly decreased creeping with time with a rather high initial rate of the development in the first hours after loading. It is typical for stresses that do not exceed the long-term resistance of concrete.

Experimental study of deformation of shrinkage and creep of fine-grained concrete allows us to compare the loss of prestressing due to concrete shrinkage and creep.

Usually there is an aggregate effect of these factors, which significantly complicates the study of the processes occurring in concrete during long-term exposures. Basically, the results obtained during testing of concrete prisms are used to compare stress-related properties of concrete, but this is not enough to study the loss of prestressing due to concrete shrinkage and creep and testing should be carried out on elements reinforced with prestressed reinforcement to take into account changes in prestresses and redistribution of stresses on the height of the cross section (depth) of the element with a prolonged action of the prestressing force. The results of experimental studies

of rectangular reinforced concrete beams at loadcase of different ages of $t = 14, 28, 280$ and 320 days are analyzed. The losses from rapid creep, shrinkage losses, total losses from shrinkage and creep are considered. The experimental data are presented in the form of graphs and tables. There was performed comparison of the experimental data with the calculated ones determined according to the current standards, and for shrinkage according to the method proposed by I.I. Ulitsky as well.

Key words: shrinking deformation, creep deformation, fine concrete, rapid creep.

DOI: 10.21869/2223-1560-2018-22-1-112-117

For citation: Parfenov S.G., Morgunov M. V. Experimental Investigations of the Losses of Prestressing in Fine Reinforced Concrete Elements. Proceedings of the Southwest State University, 2018, vol. 22, no. 1(76), pp. 112-117 (in Russ.).

Reference

1. Arutjunjan N.H., Manzhurov A.V. Kontaknyye zadachi teorii polzuchesti. Yerevan, NAN RA Publ., 1999, 318 p.
2. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Raschetnyye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona. Moscow, ASV Publ., 2004, 472 p.
3. Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52-01-2003:SP 63.13330.2012. Data vvedeniya 2015-01-01. Moscow, OOO «Analitik» Publ., 2012, 158 p.
4. GOST 24544-81*. Betony. Metody opredeleniya deformatsiy usadki i polzuchesti. Vved. 1982-01-01. Moscow, Standartov Publ., 1982.
5. Galustov K. Z. Nelineynaya teoriya polzuchesti betona i raschet zhelezobetonnykh konstruksiy. Moscow, Fizmatgiz Publ., 2006.
6. Yesayan S.G. Reologicheskoye modelirovaniye vyazkouprugikh, uprugoplasticheskikh i vyazkouprugo-plasticheskikh sred. Yerevan, Chartaraget Publ., 2009. 368 p.
7. Livshic Ja. D. Raschet zhelezobetonnykh konstruksiy s uchetom vliyanija usadki i polzuchesti betona. 2-e izd., pererab. i dop. Kiev, Vishha shk. Publ., 1976, 280 p.
8. Parfenov S.G., Moschenkov V. Ye. Experimental Study of Creep and Shrinkage Strains in Fine Aggregate Concretes. Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, 2017, vol. 21, no 4(73), pp. 13-20 (in Russ.).
9. Tamrazjan A.G., Esajan S.G. Mehanika polzuchesti betona. Moscow, MGSU Publ., 2013, 524 p.
10. Tamrazjan A.G. K teorii rascheta po predel'nyy sostojanijam na osnove reologicheskoy mehaniki zhelezobetona. Beton i zhelezobeton, 1999, no. 3.
11. Ulickij I.I., Chzhan-Chzhun-Jao, Golyshev A.B. Raschet zhelezobetonnykh konstruksiy s uchetom dlitel'nykh processov. Kiev, Gosstrojizdat USSR Publ., 1960, 495 p.
12. Hasin V.L. K raschetu zhelezobetonnykh jelementov s uchetom nelinejnoj polzuchesti betona. Puti povysheniya proizvoditel'nosti truda, sokrashheniya srokov proektirovaniya i stroitel'stva transportnykh sooruzhenij. Sb. nauchn. tr. Moscow, ShhIIS Publ., 1986.
13. Li Xian-Fang, Fan Tian-You. Transient analysis of a piezoelectric strip with a permeable crack under anti-plane impact loads. International Journal of Engineering Science, Jan. 2002, 40, pp. 131-143.
14. Javier Aviles, Martha S. Sanchez-Sesma, Francisco J. Effects of wave passage on the relevant dynamic properties of structures with flexible foundation. Earthquake Engineering & Stuctural Dynamics, Jan. 2002, 31, 1, p.139-159
15. Hidalgo P. A., Jordan R. M., Martinez M. P. An analytical model to predict the inelastic behaviour of shear-wall, reinforced concrete structures. Engineering Structures, Jan. 2002, 24, 1, p. 85-98.